

**PROCESOS DE CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL
LÁSER ESCÁNER TERRESTRES, EL CASO DE VILA VELLA EN
TOSSA DE MAR.**

Mt. Univ. Juan Manuel Corso Sarmiento
Arquitecto
Noviembre 2011

1. Clasificación y reorganización de la información:

La clasificación de la nube de puntos parte de la necesidad de la adecuada administración de la información del escáner láser terrestre, puesto que su desglose permite su entendimiento, segmentando el modelo de nubes de puntos en entidades con características comunes que permitan compararlas entre si y al mismo tiempo relacionarlas con las otras entidades segmentadas.

Puesto que esta segmentación y posterior clasificación forma parte de un trabajo de investigación más aplicado, las características de estas entidades aisladas ya están condicionadas, por la orientación arquitectónica que se tomara de su análisis, en primer lugar desde la interpretación de planos, fachadas y secciones. Posterior a ello la unión de estos generará la información necesaria para una construcción en tres dimensiones.

Para poder desglosar dicha información para ser interpretada en planta, fachada y sección, hay que entender la complejidad de la información, como se puede visualizar en la figura 1, dividiendo las edificaciones en cinco categorías, el suelo, el techo, las fachadas, la vegetación, el mobiliario urbano y el contexto de Vila Vela.

Figura 1: Categorías por clasificar

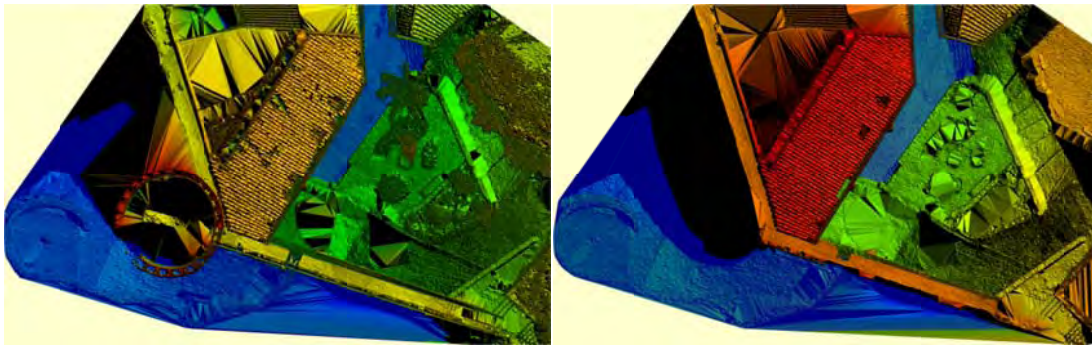


Fuente: Propia

Aparte de la complejidad de los elementos por segmentar, surge la problemática de como relacionar estas superficies en etapas posteriores a la clasificación, según las consideraciones del análisis arquitectónico planteado

como requisito para el análisis de esta información. Como vemos en la figura 2 no todas las informaciones de la nube deben relacionarse al unísono, ya que por ejemplo en la visualización de la información en planta, la vegetación produce un ruido excesivo que dificulta la lectura de las vías y terrazas, al igual que la información de elementos verticales que no se ven en el plano, pero que la modifican, sobre todo cuando hay vacíos de información, interpolando información entre estas superficies verticales, creando superficies que no existen.

Figura 2: Derecha DTM generado a partir de toda la nube de puntos con color respecto a la altura. Izquierda DTM del suelo y techos de la misma selección con color respecto a la altura



Fuente: Propia

En la comparativa de los dos modelos digitales de terreno DTM, identificamos que al no filtrar la información se identifican los siguientes problemas:

- Ruido de la vegetación
- Elementos verticales que interfieren con el suelo
- Vacíos de información

2. Antecedentes de procesos de detección de la vegetación en imágenes de rango:

A continuación explicamos los principales procesos de clasificación de la información de vegetación, mediante algoritmos de clasificación y posteriormente los programas que los utilizan.

Detección de la vegetación en imágenes de Rango:

Full-Waveform-Analysis: Los pulsos láser golpean múltiples superficies, por lo cual múltiples reflejos son recibidos por pulso, esto ocurre con frecuencia en la vegetación, en ello se basa la técnica FWA, interpretando la señal recibida con varias funciones de Gaussian, para cada uno de las medidas de rango, que

dependen en la capacidad del láser escáner utilizado para recibir estas medidas múltiples.¹

k-nearest neighbors (KNN): algoritmo de clasificación de imágenes de rango de entornos urbanos

conditional random fields (CRF): ² Utiliza super-voxels para reducir la cantidad de datos para ser procesados,

Markov networks and support vector machines (SVM): Adaptan la función de la técnica de gradiente max-margin en redes Markov para aprender una clasificación de modelos de high-orden³, para manejar una gran cantidad de datos y asumirlo en tiempos de computación Triebel, utilizando primero los procesos K-D trees antes que los asociativas redes Markov⁴.

3. Comparativa entre programas lidar de fuente abierta y gratuitos

Tabla 1: Comparativa programas Lidar gratuitos (Se incluye en esta tabla VRmesh siendo un programa de pago, que admite una versión de prueba de tres meses)

Software	terrain analysis	lidar	volume	point clouds	processing	segmentation	filtering	feature estimation	registration	gridding	DEM	binning	P2G	data analysis	Classification	Filter	curvature	Ground	Interpolation	GIS / raster vector	Bathymetry	LAS	River/wather/RBT Management	Detrending
Makai Voyager	✓	✓	✓	✓																				
Point Cloud Library (PCL)				✓	✓	✓	✓	✓	✓															
Points2Grid				✓						✓	✓	✓	✓											
MCC-LIDAR				✓											✓	✓	✓	✓	✓					
DielmoOpenLidar				✓																				
SAGA GIS	✓			✓																✓		✓		
VRMesh	✓	✓		✓		✓	✓		✓					✓	✓	✓	✓	✓				✓		
River Bathymetry Toolkit (RBT)		✓																			✓		✓	✓
BCAL LIDAR Tools		✓		✓												✓								
Geospatial Data Abstraction Library											✓												✓	
xyzRotatorDH				✓																			✓	
GRASS GIS											✓					✓		✓	✓					
libLAS				✓																		✓		
Points2Grid Utility (winP2G)		✓		✓							✓													
ANN															✓	✓								
LViz: 3D LIDAR Visualization Tool			✓																					

Fuente: Propia

Cabe destacar de los siguientes programas de la tabla anterior:

¹ ELSEBERG, Jan., Full Wave Analysis in 3D Laser Scans for Vegetation Detection in Urban Environments, School of Engineering and Science, Jacobs University Bremen gGmbH, 28759 Bremen, Germany, 2011.

² E. H. Lim and D. Suter. 3D Terrestrial LIDAR Classifications with Super-Voxels and Multi-Scale Conditional Random Fields. Computer- Aided Design, 41(10):701 – 710, 2009.

³ D. Munoz, J. A. Bagnell, N. Vandapel, and M. Hebert. Contextual Classification with Functional Max-Margin Markov Networks. In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2009.

⁴ R. Triebel, K. Kersting, and W. Burgard. Robust 3D Scan Point Classification using Associative Markov Networks. In ICRA '06, pages 2603–2608, 2006.

MCC-LIDAR: Programa de fuente abierta para el procesamiento del retorno (*discrete-return*) del registro de datos LIDAR en ambientes forestales. Se clasifican los datos de suelo y no suelo, utilizando los algoritmos de clasificación de curvatura desarrollados por Evans and Hudak, 2007⁵.

GRASS GIS: Programa de fuente abierta de sistemas de información geográfica, que incluye herramientas relacionadas con el procesamiento de infracción LIDAR, en la actualidad no reconoce de forma directa la información de formato LAS, el más común para datos LIDAR.

BCAL Lidar Tools: Herramientas de código abierto desarrollado por la Universidad Estatal de Idaho en el Boise Center Aerospace Lab IDL, desarrollado como una aplicación, para el paquete de software ENVI. Incluye una herramienta de filtrado de altura optimizado para abrir pastizales, desarrollado por Streutker y Glenn, 2006⁶.

SAGA GIS: Programa de fuente abierta de sistemas de información geográfica, que incluye varias herramientas para manipular nubes de puntos, por ejemplo tiene una calculadora de atributos, filtros de reclasificación y métodos de interpolación a través de una retícula, tiene en cuanto a la clasificación un filtro en base a una retícula, adaptada de la investigación de Vosselman 2000⁷.

ANN: Es una librería de búsqueda de “*Approximate Nearest Neighbor*”. Escrita en c++, la cual soporta múltiples estructuras de datos y algoritmos tanto para extraer como aproximar una búsqueda de “*nearest neighbor*”, buscando de forma arbitraria a grandes dimensiones. Se puede descargar la aplicación 1.1.2 en la página <http://www.cs.umd.edu/~mount/ANN/> y fue desarrollada por David M. Mount y Sunil Arya en el 2010.

Otros programas importantes para la clasificación de la nube de puntos, pero de carácter comercial son:

- Lviz
<http://lidar.asu.edu/LViz.html>
- Fusion
<http://forsys.cfr.washington.edu/fusion.html>
- SAGA-GIS
<http://www.saga-gis.org/en/index.html>
- MARS FreeView
<http://www.merrick.com/index.php/geospatial/services-gss/mars-software>
- MATLAB

⁵EVANS, Jeffrey S.; HUDAK, Andrew T., A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return LiDAR in forested environments, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 45(4): 1029-1038, 2007

⁶EHINGER, Sara., Design, development, and application of lidar data processing tool, A thesis, submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Geographic, Information Science
Idaho State University, 2010

⁷ZHAN, Keqi., A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements from Airborne LIDAR Dat, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, VOL. 41, NO. 4, 2003.

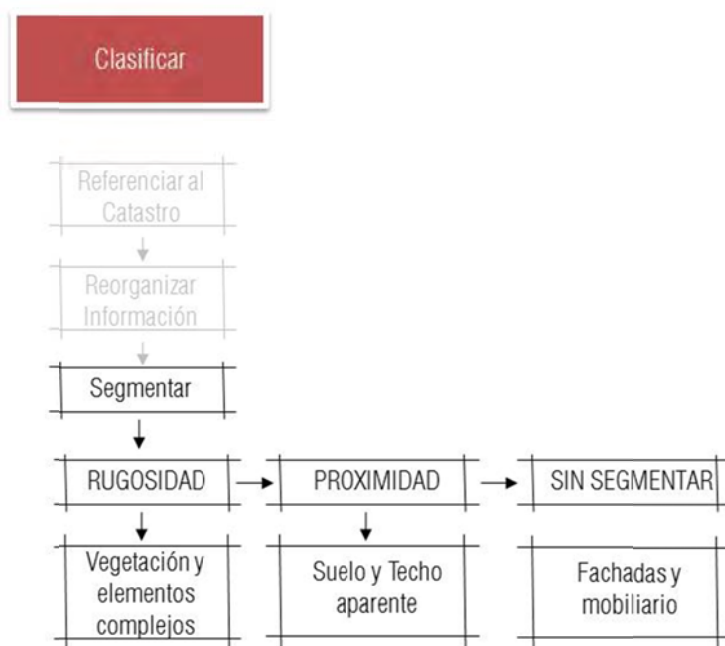
- <http://dirsig.blogspot.com/2010/11/lidar-point-cloud-visualization.html>
- Gnuplot
<http://www.gnuplot.info/>

4. Caso de estudio de Vila Vella en Tossa de Mar con el programa VRmesh

Con la versión de prueba de Vrmesh se realizó una clasificación de la nube de puntos. Se utilizó este programa ya que permite realizar una clasificación preliminar en base al promedio de la posición de los puntos, identificando elementos en los cuales los puntos son dispersos, llamado clasificación por rugosidad, aplicado sobre escáneres aéreos LIDAR, interpretando esta información como vegetación.

En el caso de la nube de puntos TLS, esta clasificación encuentra todos los elementos que presentan cierto nivel de complejidad, como elementos urbanos, ventanas, o la vegetación, por ello se plantea una metodología (figura 4), que partiendo de esta información y de una posterior clasificación por planos permita identificar los elementos urbanos que componen este casco patrimonial medieval.

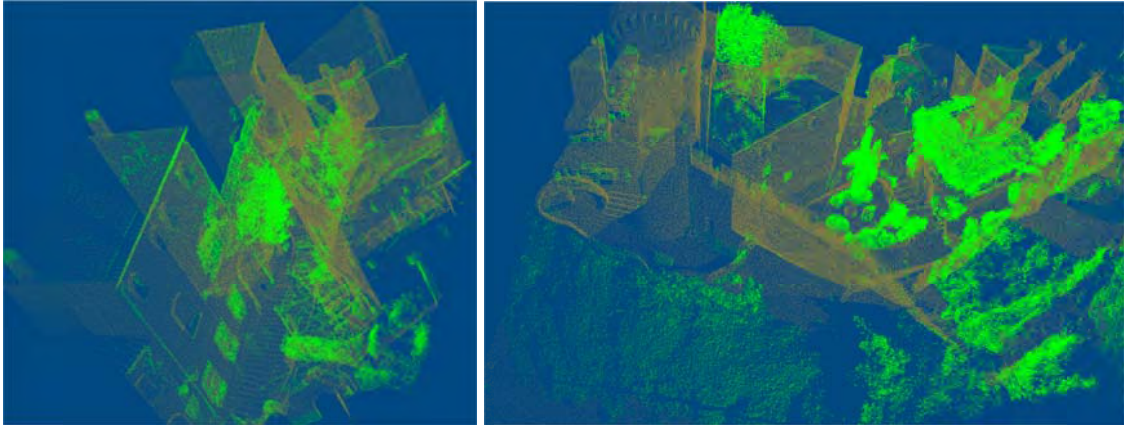
Figura 4: Metodología planteada



Fuente: Propia

En la figura 5 podemos ver la aplicación de este filtro diseñado para escáneres aéreos sobre bases de escáner láser terrestre. Destacando la separación de las superficies de vegetación baja con respecto del suelo y como realiza una selección preliminar de la vegetación de forma automática.

Figura 5: Vegetación y elementos complejos: Detección de rugosidad con un radio de 0.6 m y con un mínimo de 1000 puntos

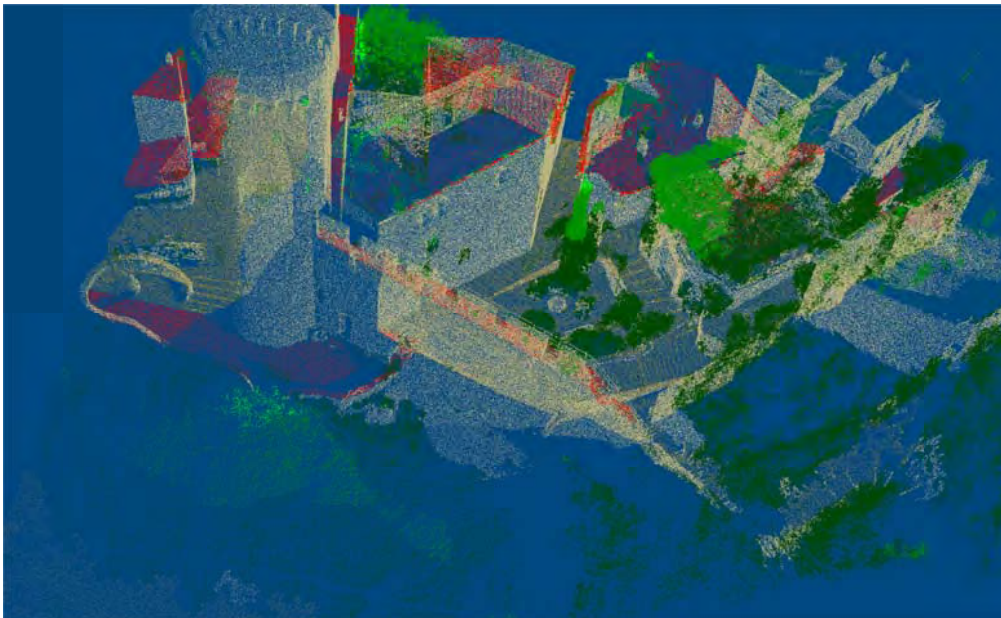


Fuente: Propia

Posterior a esta clasificación se identifican las superficies horizontales próximas, dividiéndolas en dos en relación de las diferencias de altura entre estas, por una parte las superficies conformadas por puntos que se consideran bajas se identifican como suelo y las que están sobre estas como techo.

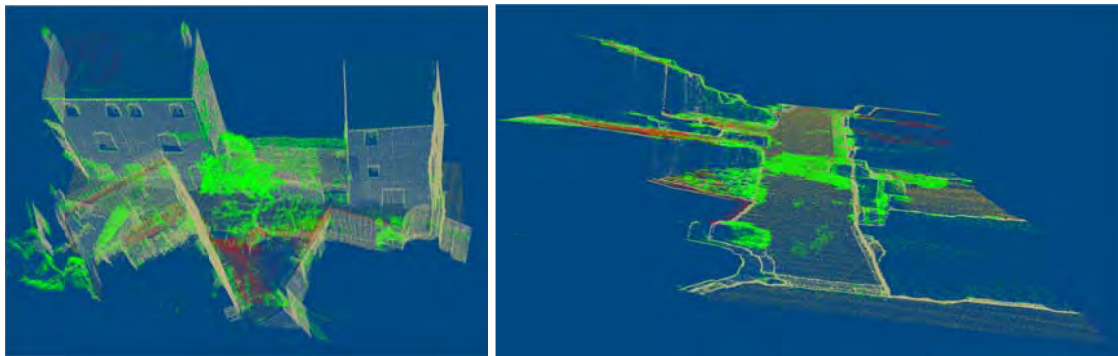
También al ser identificado el suelo, se realiza una división de la vegetación, estableciendo a priori una altura de esta, en este caso por encima de 2 metro como vegetación alta y por debajo como baja, lo cual vemos en la figura 6 y 7.

Figura 6: Clasificación por proximidad



Fuente: Propia

Figura 7. Izquierda detección de Superficies horizontales Slope 74% y mayores de 1.2 m de altura, Suelo: 618.541 puntos / Vegetation: 64.061 puntos / Edificio: 34.728 puntos. Derecha proyección al suelo.



Fuente: Propia

Complementario a dicha clasificación se realizó un proceso de proyección de la información de la nube de puntos al suelo, relleno de los vacíos que dejaría la eliminación de los elementos que no se consideran suelo, figura 7.

Las nubes de puntos resultantes se dividen en cuatro tipos, dada su resolución, distribución de la información y complejidad:

En primer lugar las fachadas con la mayor información, ya que el objetivo de este levantamiento se centraba en la obtención de dichos datos, con una resolución de 1 cm de distancia entre puntos como media, la información de la muralla tiene una menor resolución dada la distancia de la toma de datos, pero con una distribución homogénea de la información 3cm entre puntos como media.

En segundo lugar la nube de puntos clasificada del suelo presenta una menor resolución, ya no en cuanto a la media de la distancia entre puntos, ya que la problemática de su resolución se debe a la poca homogeneidad de la misma, ya que se genera como una información indirecta a la toma de datos orientada a las fachadas, con una alta resolución alrededor de cada posición y el degradado de dicha información a la distancia, dejando huecos importantes de información por una parte e información redundante en otras con su respectivo ruido.

En tercer lugar encontramos la información de cubiertas que fue adquirida a la distancia o desde la ronda de la muralla que se encuentra a mayor altura, dejando caras en sombra por la altura de ciertos volúmenes, con una resolución muy baja entre puntos, llegando a ser la media de distancia entre ellos de 20cm.

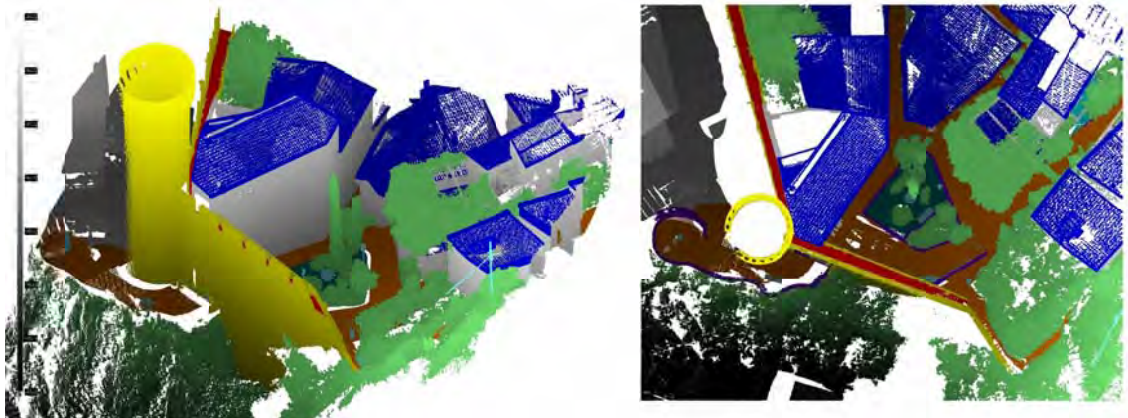
Por último encontramos una información que por su dimensión, complejidad y ruido necesita procesos singulares, por un lado la información de vegetación

que presenta un ruido importante ya que está en constante movimiento y presenta una complejidad que presenta una auto oclusión, por otro lado encontramos elementos urbanos complejos, con un nivel de detalle que alto, que precisan un grado de interpretación para su descripción. La resolución de estas dos informaciones varía según la cara que se realiza la toma de datos del elemento, por lo cual una media en este caso tampoco sería representativa.

5. Análisis preliminar de la clasificación

La reorganización manual impide la comparación rigurosa de la información, figura 8. Por ejemplo si se repitiera el mismo proceso en otra fecha, los cambios no se pueden comparar cuantitativamente al ser la separación de elementos y su agrupación un proceso visual, e igualmente no se puede mejorar este proceso al perder su rigurosidad.

Figura 8. Clasificación final de la nube de puntos, basada en la clasificación automática y editada manualmente.



Fuente: Propia

Análisis de la información segmentada y clasificada:

La información del TLS no es homogénea, por la disminución de la resolución a la distancia, la altura del instrumento en la toma de datos, por el ángulo de escaneo con un límite de 80° en la vertical.

Características de un desarrollo medieval amurallado de Tossa de Mar

En planta:

- Ejes de calle descentrados por muros y jardineras bajas
- Escalones no paralelos, con huellas y contrahuellas irregulares
- Pendientes constantes siguiendo la topografía de la implantación y localización
- Calles en pendiente con escalones en paralelo
- Formas orgánicas complejas en intersecciones de calles

- Limite no definido entre calles y zonas verdes
- Patios en interiores
- Unión de terrazas y calles, relación publico privado
- Escalones y acceso a viviendas y restaurantes conectados a las calles, pero separados con muros bajos
- Intervenciones de alcantarillado recientes poco visibles para no alterar su valor patrimonial
- Detalles de escaleras
- Clasificación de elementos, en busca de su repetición y distribución
- Pandeo transversal de las calles
- Material de suelo irregular
- Piedras que alteran la morfología de las calles, alineadas contra fachadas
- Intervenciones en el suelo cambiando materiales (pendiente alcantarillado)

Fachadas:

- Altura de hasta dos plantas
- Fachadas planas, sin cambios volumétricos a nivel de fachada, ni balcones (Permite el desdoblamiento de los elementos, como las fachadas)
- Muros bajos y cubiertas en accesos a viviendas
- Proyección de cubiertas inclinadas de una o dos aguas y terrazas planas
- Elementos urbanos (iluminación, señales)
- Deformación de los muros
- Marcos de ventanas

Cubiertas:

- Alturas desiguales por terreno (Restar dtm)
- Pendientes irregulares
- Cubiertas simples de una o dos aguas, sin limahoyas, ni petos o nudos
- Cumbreras y limatesas descentradas
- Elementos en cubierta como buhardillas, beatas y lucernarios
- Elementos agregados, como antenas
- vertientes irregulares
- Terrazas a distintos niveles
- Muros laterales a cubiertas

Muralla:

- Escaleras regulares con peldaños paralelos
- Pendiente y desagüe

- Superficie regular en cemento
- Barandas metálicas tubos estándar
- Unión de barandas a muros
- Anomalías en intersecciones con muros de edificaciones
- Muro de muralla con perforaciones
- Muro escalonado irregular con pendientes
- Muro con diferente tipo de piedras y aparejos
- Muro Inclinado exterior de muralla
- Muro que se ensancha para generar el suelo de la muralla
- Torres a diferentes alturas y radios
- Acceso interior de torres con escaleras en espiral
- Diferentes tipos de accesos con cambios de nivel, cambio de barandas y escalones a la entrada de las torres por la murallas
- Intervenciones en muralla y torres

Vegetación:

- Árboles representativos
- Árboles grandes en el interior de parcelas
- Grupo de árboles en zonas verdes
- Vegetación en zonas verdes entre calles
- Límites de Vila vela
- División entre arbustos y árboles

Mobiliario Urbano:

- Identificación de elemento
- Ubicación
- Clasificación
- Repetición

Relación entre elementos clasificados de la nube de punto en relación a fachadas, plantas y volumetría

- **Planta:** Delimitación de elementos representativos de los suelos, Techos, muralla, vegetación y elementos urbanos
- **Fachada:** Fachadas de los edificios, proyección de los techos, proyección vegetación, sección del suelo
- **Volumetría:** Información vinculada a las caras de las parcelas como fachada de los edificios, información que modifica el volumen como aperturas de ventanas y puertas, Información vehiculada a las superficies de suelo, malla orgánica y DTM

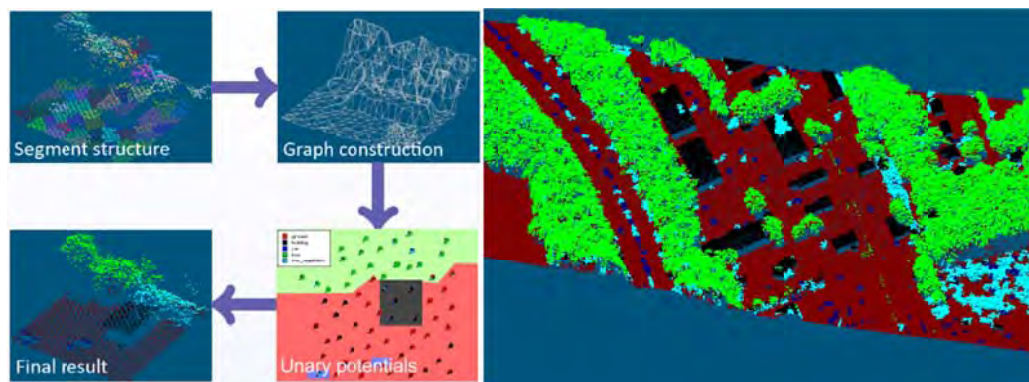
- **Elementos prefabricados:** repetición de elementos complejos tanto en fachada como en planta, identificación, ubicación y descripción de dichos elementos

6. Trabajo futuro

Dado que la clasificación mediante programas para escáneres aéreos no cumplieron los requisitos planteados y requirió un proceso manual, se planteó el estudio de dos procesos de filtrados que pueden ser editados en fusión de las necesidades planteadas en este caso de estudio de carácter medieval.

El primer proceso que se plantea es la clasificación de la rugosidad mediante los algoritmos desarrollados por Graphics and Media Lab, llamados visCloud.m desarrollados en Matlab⁸, figura 9.

Figura 9: aplicación del scrip visCloud.m en Matlab

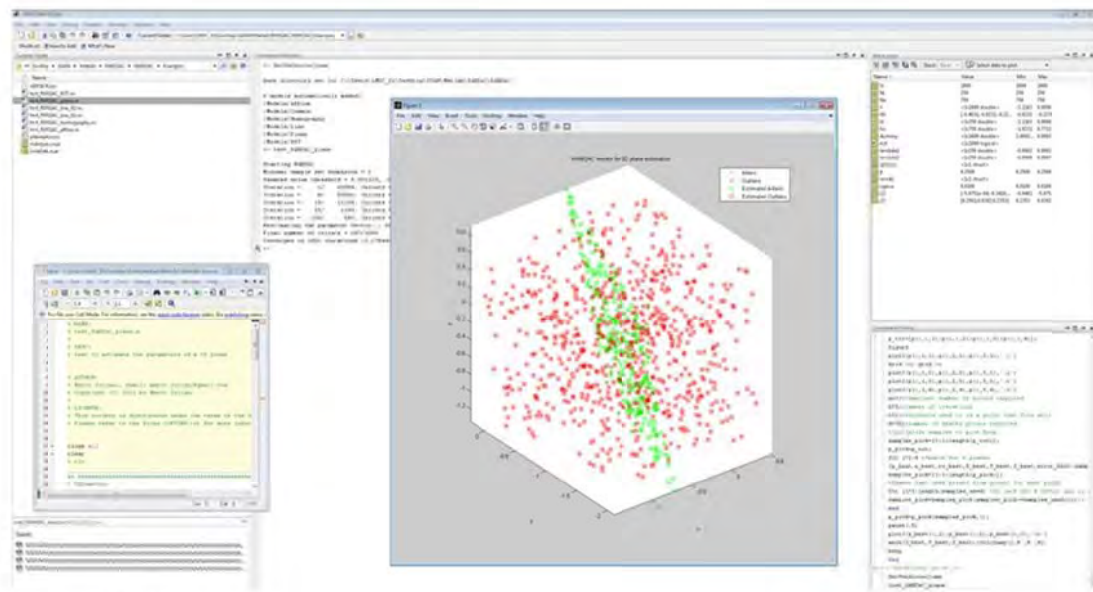


Fuente: <http://graphics.cs.msu.ru/en/science/research/3dpoint/classification>

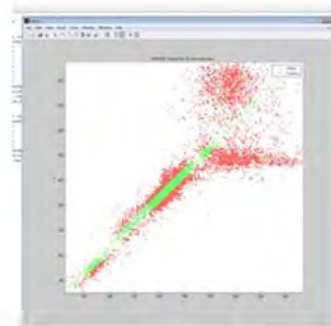
El segundo proceso de clasificación que se desarrollara se basará en los trabajos de Marco Zuliani, en la clasificación con algoritmos RANSAC (estimate the vector of parameters), el cual podemos ver en el ejemplo de la figura 10, que se aplicará sobre las bases TLS

⁸ Shapovalov R, Velizhev A. Cutting-Plane Training of Non-associative Markov Network for 3D Point Cloud Segmentation. In: IEEE International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualisation and Transmission. Hangzhou, China; 2011. p. 1-8.

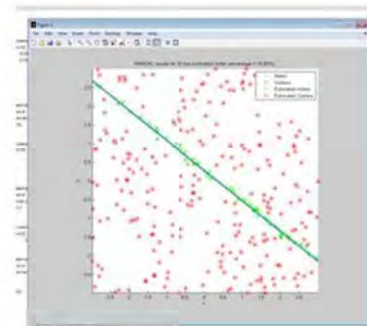
Figura 10: Clasificación RANSAC basada en el scrip publicado por Marco Zuliani



ransacfitplane



Ransacfitline 1



Ransacfitline 2

Fuente: Propia

Bibliografía preliminar:

FISCHLER, M. A., BOLLES R. C., Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, Communications of the ACM, 1981, volume 24, pág 381-395.

TORR P.H.S., ZISSERMAN, A., New Robust Estimator with Application to Estimating Image Geometry, Journal of Computer Vision and Image Understanding, 2000, volume 78 número 1, pág 138-156.

Peter Kovesi, Centre for Exploration Targeting School of Earth and Environment The University of Western Australia.

ALSHAWABKEH, Yahya., Integration of Laser Scanning and Photogrammetry for Heritage Documentation, Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 2006

MANCERA-TABOADA, Juan., on the use of laser scanner and photogrammetry for the global digitization of the medieval walls of avila, Paparoditis N., Pierrot-Deseilligny M., Mallet C., Tournaire O. (Eds), IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3A – Saint-Mandé, France, September 1-3, 2010

Rodríguez González, Pablo., FROM POINT CLOUD TO SURFACE: MODELING STRUCTURES IN LASER SCANNER POINT CLOUDS, ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser, Finland, 2007

UNESCO. Preliminary Draft Charter on the Preservation of the Digital Heritage, http://www.unesco.org/webworld/ica_sio/docs/28session/annex5.rtf

<http://www.timzaman.nl/?p=190>

<http://vision.ece.ucsb.edu/~zuliani/Research/RANSAC/docs/RANSAC4Dummies.pdf>

<http://cmp.felk.cvut.cz/ransac-cvpr2006/>

<http://graphics.cs.msu.ru/en/science/research/3dpoint/classification>

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/6636-3d-point-cloud-and-normal-vector-to-the-surface>

http://www.mathworks.com/matlabcentral/newsreader/view_thread/310367

http://www.mathworks.com/matlabcentral/newsreader/view_thread/310830

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/1393-saving-in-a-loop>

<http://www.mathworks.es/cgi-bin/texis/webinator/search?cssm=Cssm&matlabcentral=Matlabcentral&query=point+cloud&pr=Matlabcentral&prox=page&rorder=750&rprox=750&rdfreq=500&>

rwfreq=500&rlead=250&rdepth=0&sufs=0&order=r&cq=&is_summary_on=1&ResultCount=10&jump=10

<http://dirsig.blogspot.com/2010/11/lidar-point-cloud-visualization.html>

<http://www.gnuplot.info/>

Shapovalov R, Velizhev A. Cutting-Plane Training of Non-associative Markov Network for 3D Point Cloud Segmentation. In: IEEE International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualisation and Transmission. Hangzhou, China; 2011. p. 1-8.

R. Shapovalov, A. Velizhev, O. Barinova. «Non-Associative Markov Networks for Point Cloud Classification», Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis, Paris: 2010

<http://graphics.cs.msu.ru/en/science/research/3dpoint/classification>